

## O EFEITO DA COMBINAÇÃO DA REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA E DA ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA NO DESEMPENHO MOTOR DE INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS

Gabriela do Amparo Nogueira (IC) e Marília Lira da Silveira Coelho (Orientador)

**Apoio: PIVIC Mackenzie**

### RESUMO

**Objetivo:** Verificar o efeito da combinação da Realidade Virtual Imersiva (RVI) e da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) no desempenho motor de indivíduos saudáveis. **Método:** O estudo apresentado é experimental, randomizado e placebo-controlado. 49 participantes saudáveis, de ambos os sexos e de 18 a 40 anos, foram divididos aleatoriamente em grupo experimental (n=24, RVI e ETCC ativo) e grupo controle (n=25, RVI e ETCC placebo). Os participantes realizaram a tarefa 20 minutos por sessão, durante 5 dias consecutivos. Os indivíduos foram avaliados no primeiro (D1) e no quinto dia (D5), antes e depois da execução da tarefa, através do teste caixa e bloco. **Resultado:** Após o treinamento, os resultados obtidos no teste demonstraram que a RVI melhorou significativamente o desempenho motor de ambos os grupos ( $p < 0.001$ ), com diferença significativa no fator Momento (D1 antes e depois da RVI, D5 antes e depois da RVI, D1 antes e D5 depois da RVI) e no fator Lateralidade (direito-esquerdo). Além disso, as pontuações obtidas no jogo durante os dias de execução da tarefa demonstraram que a RVI também é capaz de melhorar a performance no jogo, com diferença significativa ( $p < 0.001$ ) no fator Momento (D1, D2, D3, D4 e D5). No entanto, para o fator ETCC não foi observada diferença significativa ( $p = 0.571$ ) tanto nas análises intragrupo quanto entre grupos. **Conclusão:** Os achados desse estudo indicam que a utilização da RVI, independente do uso combinado com a ETCC em CPP, resulta em melhora no desempenho motor de indivíduos saudáveis.

**Palavras-chave:** Desempenho motor. Realidade Virtual Imersiva. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua.

### ABSTRACT

**Objective:** To verify the effect of the combination of Immersive Virtual Reality (VRi) and Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on the motor performance of healthy individuals. **Method:** The study presented is experimental, randomized and placebo-controlled. 49 healthy participants, male and female, aged 18 to 40 years, were randomly divided into an experimental group (n=24, VRi and active tDCS) and a control group (n=25, VRi and placebo tDCS). Participants performed the task 20 minutes per session, for 5 consecutive days. The individuals were evaluated on the first (D1) and fifth day (D5), before

and after the execution of the task, through the box and block test. **Result:** After training, the results obtained in the test showed that the VRi significantly improved the motor performance of both groups ( $p < 0.001$ ), with a significant difference in the Moment factor (D1 before and after the VRi, D5 before and after the VRi, D1 before and D5 after VRi) and on the Laterality factor (right-left). In addition, the scores obtained in the game during the days of execution of the task demonstrated that VRi is also capable of improving performance in the game, with a significant difference ( $p < 0.001$ ) in the Moment factor (D1, D2, D3, D4 and D5). However, for the tDCS factor, no significant difference was observed ( $p = 0.571$ ) both in the intragroup and between groups analyses. **Conclusion:** The findings of this study indicate that the use of VRi, regardless of its combined use with tDCS in CPP, results in an improvement in the motor performance of healthy individuals.

**Keywords:** Engine performance. Immersive Virtual Reality. Transcranial Direct Current Stimulation.

## 1. INTRODUÇÃO

A relação entre tecnologia e fisioterapia tem se tornado cada vez mais relevante, os avanços tecnológicos fornecem recursos inovadores para a área e contribuem para o aumento da adesão dos pacientes aos tratamentos. Dessa maneira, dentre as abordagens que visam promover um maior interesse e interação por parte dos pacientes destaca-se a “gameterapia”, essa ferramenta utiliza jogos específicos de forma lúdica, de acordo com as necessidades de cada indivíduo, a fim de potencializar a humanização do tratamento e a experiência do indivíduo durante a execução de exercícios de recuperação das funções motoras (BALUZ et al., 2020). Nesse contexto, uma tecnologia recente que promove a interação do paciente com ambientes virtuais diversos a partir de novos estímulos, é chamada de Realidade Virtual (RV).

A RV pode ser definida pela capacidade de criar simulações do ambiente real por meio do uso de dispositivos como luvas, controles ou óculos. Um recurso importante nessa tecnologia é denominado “head tracking”, que permite o processamento das informações por meio de software para determinar a área em que o participante está inserido, estimulando as áreas cerebrais responsáveis pela criação e o processamento de imagens (TORI et al., 2006). Nesse segmento, um dos equipamentos em ascensão no âmbito da reabilitação é a Realidade Virtual Imersiva (RVi), pois promove uma interação indivíduo-máquina na perspectiva de primeira pessoa e faz com que o participante tenha a percepção de imersão completa no ambiente virtual, como se fosse um ambiente real. Essa imersão virtual integra os estímulos multissensoriais como, visão, tato, audição, propriocepção corporal e vestibulo, para ação motora no desempenho da tarefa que o jogo propõe.

Explorando a integração multissensorial no âmbito da RVi, evidências (CALVERT; THESEN, 2004; LONGO et al., 2008) sugerem que as respostas a estímulos ou tarefas podem variar de acordo com a distância em relação a linha média corporal. Essa variação ocorre devido ao processamento do estímulo e à intensidade da integração multissensorial quando o estímulo da tarefa é apresentado no espaço próximo ao corpo, na área de ação motora (PRESTON, 2013). Nesse sentido, na RVi possivelmente há uma maior integração de múltiplos estímulos sensoriais durante a realização da tarefa.

Os estímulos sensoriais são integrados e processados em áreas cerebrais como o córtex parietal posterior (CPP) e posteriormente são conectadas a rede neural de regiões como motora, somatossensorial, auditiva e/ou visual. O CPP também atua nas funções de processos cognitivos como: atenção, percepção espacial e tomada de decisão, a partir das representações das relações espaciais, imaginadas ou reais (WHITLOCK, 2017; PISELLA, 2017). Portanto, a modulação área cortical responsável pela integração multissensorial beneficiaria o desempenho motor com o uso da realidade virtual imersiva?

A fim de, promover melhor compreensão e utilização da RV imersiva, pesquisas nessas áreas têm sido ampliadas no âmbito da reabilitação. Os estudos vêm demonstrando a eficácia de terapias combinadas terapêuticas em tratamentos de diferentes condições clínicas, como a combinação da RV e da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). Lee e Chan (2021) apontou que a ETCC anódica no córtex motor primário (M1) ipsilateral durante o treinamento de RV para a função do membro superior de indivíduos pós-AVC resultou em melhorias na recuperação da função do membro superior, cognição e função executiva (LEE; CHAN,2021). No entanto, até o momento poucas são as evidências do uso da ETCC no CPP para aumento da velocidade de integração dos múltiplos estímulos vivenciados na terapia com a RV.

Dessa forma, é importante compreender se a modulação da área CPP por meio da ETCC é capaz de aumentar o desempenho motor por meio da RVi em indivíduos saudáveis.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

O desempenho motor diz respeito à capacidade e eficácia com que um indivíduo executa movimentos físicos, isso inclui habilidades como coordenação motora, força, agilidade e precisão. A aquisição dessas habilidades motoras é o resultado de um mapeamento dinâmico entre percepção e ação, ou seja, um mapeamento do relacionamento entre as ações realizadas pelo executante e as consequências sensoriais provenientes desta ação (BARELA, 1999). Desse modo, a realidade virtual (RV), por meio de simulações que envolvam movimentos e interações virtuais, pode avaliar e aprimorar esse desempenho.

A RV pode ser classificada conforme o nível de imersão da experiência, imersiva ou não-imersiva. Para o projeto foi utilizado à RV imersiva, ou seja, o usuário é totalmente colocado no ambiente virtual através de aparelhos multissensoriais que captam os movimentos realizados no mundo real para o mundo virtual (TORI et al., 2006).

Para a criação desse ambiente é necessário a utilização de um óculos especializado para tal, chamado de estereoscopia. O equipamento cria a sensação de profundidade para o ambiente virtual e deve cobrir todo o campo visual do participante, caso contrário será considerado uma técnica de realidade virtual não imersiva, pois o participante pode desviar o olhar no ambiente criado (TORI et al., 2006). Além disso, durante a imersão é possível notar que as percepções sensoriais são amplificadas e podem ser moduladas, através de recursos para a criação de uma sensação de tempo acelerado ou desacelerado (TORI et. al, 2006).

A RVi pode ser utilizada combinada à jogos eletrônicos, promovendo envolvimento e motivação do usuário. Dentre esses jogos, está o Beat Saber, que simula controladores portáteis como sabres de luz, por meio dos quais os usuários cortam alvos e devem evitar ativamente os obstáculos que se aproximam ao ritmo da batida da música, fornecendo feedback tátil, auditivo e de desempenho e proporcionando aos participantes uma experiência

imersiva (SZPAK; MICHALSK; LOETSCHER, 2020).

Além disso, considerando que o ambiente virtual fornece estímulos sensoriais multimodais, como auditivos, visuais e táteis (NOCCARO et al., 2020) o estudo buscou combinar a eficácia da RVi com a estimulação da área cerebral do Córtex Parietal Posterior (CPP), responsável por essa integração multissensorial.

O Córtex Parietal Posterior está localizado entre o Córtex Visual, no polo caudal do cérebro, e o Córtex Somatossensorial, encontrado atrás do sulco central. De maneira geral, essa área cerebral é referida como uma região cortical 'associativa' porque não é nem estritamente sensorial nem motora, mas combina informações de várias áreas cerebrais, incluindo córtices somatossensorial, auditivo, visual, motor, cingulado e pré-frontal, e integra sinais proprioceptivos e vestibulares de áreas subcorticais (WHITLOCK, 2017).

Contudo, dentro desse amplo espectro de atuação, o sistema visual se mostrou o principal e mais importante tendo em vista a geração de imagens que o CPP é capaz de realizar, segundo a monografia de McDonald Critchley publicada em 1953 (WHITLOCK, 2017). De acordo com Critchley o córtex estudado não só é responsável pela geração de imagens mas também por guiar o corpo pelo espaço através da percepção parcial, além de ajudar a entender como cada parte do corpo humano se relaciona com as outras, criando a capacidade de movimentos mais refinados e automáticos (WHITLOCK, 2017).

Outro estudo realizado pelo CPP, em 2002, Blake e sua equipe de pesquisadores pretendiam entender o que ocorria quando os lobos parietal e occipital, do hemisfério cerebral direito, eram estimulados por uma corrente elétrica. Ao realizar os estudos perceberam que os participantes foram capazes de descrever imagens e sensações espaciais com clareza, mesmo que estivessem com seus olhos fechados. Em 2006, a mesma equipe publicou outro estudo, agora analisando o hemisfério cerebral esquerdo, e em concordância com o estudo anterior, os participantes foram capazes de descrever imagens claras. Alguns participantes descreveram a presença de uma “pessoa sombra” que acompanhava os movimentos que eram realizados pelos participantes (BLAKE et. al, 2006).

Após essas e outras descobertas a estimulação cerebral, que sempre foi alvo de estudo pelos pesquisadores, ganhou uma nova visão com a modulação da excitabilidade cortical para a produção de efeitos inibitórios, ou não, sobre uma variedade de comportamentos humanos (HALLOWAY et al, 2017). Quando a corrente é utilizada de maneira contínua a técnica é chamada de Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). Já que envolve a produção de uma corrente de baixa intensidade e que flui entre dois eletrodos posicionados no couro cabeludo do participante; os eletrodos podem ser posicionados em um mesmo hemisfério cerebral ou em hemisférios diferentes (BENWELL et al, 2015). Algumas montagens ainda podem ser feitas de maneira que um eletrodo fique localizado fora do hemisfério cerebral, sendo posicionado em um membro, como, por

exemplo, a parte superior do braço (HALLOWAY et al, 2017).

A corrente flui através dos eletrodos pela diferença de polaridade criada por um eletrodo positivo e outro negativo, os estímulos elétricos passam pelo cérebro e completam o circuito criado. É comum que uma corrente anódica (positiva) seja associada a facilitação e aumento dos comportamentos esperados ao se estimular uma determinada área, enquanto uma corrente catódica (negativa) provoque a maior tendência para comportamentos inibitórios. Esse processo ocorre pois a estimulação anódica despolariza a membrana dos neurônios aumentando a capacidade de surgimento de potenciais de ação, por outro lado, a estimulação catódica hiper polariza os neurônios diminuindo a ocorrência de potenciais de ação no local estimulado (NITSCHKE et al, 2008; SMITH et al, 2017).

Em suma, a ETCC é uma técnica não invasiva de estimulação e modulação transcraniana capaz de estabelecer comportamentos cerebrais variados e correlacionados através das habilidades motoras, cognitivas, sociais e afetivas. Além disso, em populações saudáveis, foi constatado que modular temporariamente o comportamento cerebral é capaz de acelerar o processo de aprendizado e de desempenho de uma tarefa (HALLOWAY et al, 2017).

Portanto, considerando a ausência na literatura da combinação da RVi e da ETCC no CPP, o presente projeto buscou avaliar o efeito da combinação dessas ferramentas no desempenho motor de indivíduos saudáveis.

### **3. METODOLOGIA**

É um estudo experimental, randomizado e placebo- controlado. O projeto foi realizado na Clínica Escola no curso de fisioterapia e no Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social, da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Foram incluídos 49 participantes sem diagnóstico clínicos de ambos os sexos, entre 18 e 40 anos e destros. Foram excluídos, participantes que realizaram neurocirurgia, que possuíam implantes metálicos e/ou marcapasso; com alterações sensoriais, dependentes químicos; mulheres grávidas ou em período de amamentação; alteração cognitiva ou que não conseguissem entender as atividades propostas no estudo.

A seleção dos participantes aconteceu pela manifestação espontânea de interesse, a partir de divulgação pelas redes sociais em plataformas do Instagram, Facebook e WhatsApp. Dessa maneira, os participantes que atenderam aos critérios do estudo foram contatados por e-mail ou WhatsApp para agendamento de encontro presencial. Os participantes incluídos foram divididos de forma aleatória e randomizados em dois grupos: 24 participantes fizeram parte do grupo ativo (ETCC + RV) e 25 fizeram parte do grupo placebo (ETCC placebo + RV). Foram realizadas 5 sessões consecutivas de ETCC (ativo ou placebo) e RV, com duração de 20 minutos.

Além disso, esses participantes foram convidados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e foram informados sobre os procedimentos experimentais a serem seguidos e que poderiam desistir, a qualquer instante, do experimento sem nenhuma consequência. O presente trabalho não contou com nenhum tipo de pagamento ou gratificação financeira pela participação. Desse modo, não houve nenhuma despesa pessoal em qualquer fase do estudo.

### **3.1. Materiais e Instrumentos**

Ficha sociodemográfica: a caracterização da amostra foi realizada através da coleta de dados utilizando uma ficha de caracterização, a qual contou com nome, idade, sexo, endereço, e-mail, telefone e nível de escolaridade.

Inventário da Lateralidade de Edimburgo: o Inventário de Lateralidade de Edimburgo (OLDFIELD, 1971) é uma escala quantitativa de avaliação ao predomínio do uso da mão direita ou esquerda. Composto por 10 atividades do cotidiano. O participante foi instruído a indicar a preferência do uso das mãos para cada atividade pela colocação do sinal (+). O sinal (++) deveria ser indicado quando a preferência da mão (direita ou esquerda) fosse tão forte que nunca usaria a outra mão, e o sinal (+) deveria ser indicado quando a mão utilizada para a realização da atividade fosse indiferente. Para cada indicador foi contabilizado 1 ponto.

Teste caixa e bloco: Para o teste de destreza manual utilizou-se uma caixa de madeira, com 53,7 cm de comprimento, com uma divisória mais alta que a borda da caixa, separando-a em dois compartimentos de iguais dimensões. O teste era iniciado sempre pela mão dominante, após o comando verbal do examinador. O participante teve 15 segundos de treino. Em seguida, os blocos transportados retornavam ao compartimento original. O examinador utilizou um cronômetro para fazer a contagem do tempo e após 1 minuto interrompia a tarefa. O teste era repetido com a mão não dominante. O resultado do teste era expresso por um escore que indicava o número de blocos transportados de um compartimento para o outro por minuto (BL/MIN).

Realidade Virtual: tem por finalidade a criação de cenas e objetos, criando a sensação através de sons e projeções, ao usuário, de imersão com o uso de óculos específicos (TORI et. al, 2006). Os participantes foram submetidos ao jogo Beat Saber, desenvolvido pela empresa PlayStation e compatível com a versão 4 do videogame (PS4). Eram posicionados, de maneira individual, em posição ortostática e de frente para o sensor do aparelho PS4 utilizando o óculos de RV e segurando dois controles para captação dos movimentos das mãos. O jogo consiste em quebrar os cubos coloridos que emergem a frente do participante, no ritmo de músicas selecionadas.

Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC): o equipamento utilizado é responsável por promover a geração de uma corrente contínua por meio de eletrodos. O

posicionamento desses eletrodos foi dado através do sistema 10-20 do Eletroencefalograma (EEG). Assim os locais de aplicação foram definidos de acordo com a área estudada.

Nesse projeto a área estudada, e por consequência estimulada, foi a área cerebral - córtex parietal posterior. Para isso, os participantes usaram um par de eletrodos, embebidos em solução salina, de 35 cm<sup>2</sup> de tamanho e intensidade de corrente de 2 mA. Os eletrodos foram posicionados no couro cabeludo nas áreas correspondentes do córtex parietal posterior (eletrodo ativo anodo) e supra orbital (eletrodo de referência) (SMITH et al. 2017). Para a estimulação placebo, os eletrodos foram posicionados nas mesmas regiões da estimulação ativa, porém o estimulador era desligado após 30 segundos de ativação.

Para a terapia com ETCC ativo, a corrente teve tempo de subida da rampa de 15 segundos até 2 mA e após a ETCC, a corrente fez descida da rampa também de 15 segundos para então o estimulador ser desligado. Na estimulação placebo, a rampa subia até a intensidade estabelecida, e após 30 segundos de estimulação, a rampa descia e o estimulador era desligado. A ordem da estimulação (ativa ou placebo) realizada nos participantes foi randomizada e contrabalançada usando o random.org ([www.random.org](http://www.random.org)).

### **3.2. Procedimento experimental**

Ao início do encontro e da avaliação inicial foram preenchidos o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o Inventário de Lateralidade de Edimburgo. Para a avaliação inicial foi realizada a avaliação do teste de destreza manual da caixa e blocos, com os pacientes sentados de frente a uma mesa.

Cada participante realizou cinco sessões experimentais de ETCC e RV com intervalos mínimos de 24 horas entre as sessões, cinco vezes por semana durante uma semana.

Para colocação da ETCC, o participante ficava sentado, os eletrodos eram posicionados em seu couro cabeludo (área cerebral - CPP condição ativa ou placebo). Após 5 minutos da aplicação da ETCC, era iniciada a tarefa de RV. Para isso, o participante era posicionado de pé alinhado ao detector de movimento do equipamento. O participante jogava durante 15 minutos. Após o término da tarefa, o ETCC era desligado e o participante respondia verbalmente o questionário para controle de efeitos colaterais da ETCC e para controle de efeitos colaterais da RV. Cada sessão teve um tempo médio de duração de 25 minutos.

Riscos e benefícios: a estimulação com corrente contínua é indolor, com possíveis sensações leves de formigamento na região apenas durante a aplicação. Consiste em uma técnica segura e utilizada em diversas pesquisas, não há risco de qualquer dano cerebral devido sua aplicação. O protocolo de exercício com uso da realidade virtual associada a ETCC apresenta baixo risco. Porém, é possível sentir cansaço físico de baixa intensidade, dor de cabeça pela adaptação do treinamento e sudorese pela prática de atividade física. Contudo, o fisioterapeuta estava disponível em todo o período das coletas de dados para quaisquer



esclarecimentos, dúvidas e desconfortos.

Quanto aos benefícios, esta pesquisa além de auxiliar na compreensão do tema estudado, pode ajudar na melhora da capacidade funcional do membro superior do participante, possibilitando a criação de novos protocolos para tratamento fisioterapêutico.

### **3.3. Análise estatística**

Inicialmente os dados dos participantes foram analisados a fim de verificar a normalidade de distribuição. Foi usado o teste de Wilk-Shapiro, em uma distribuição normal dos dados, as médias e desvios padrões foram reportados. Adicionalmente, testes com uma distribuição normal foi usada ANOVA de medida repetida, teste post-hoc com tukey e bonferroni e correlação de Pearson foram usados para analisar os dados. Para todos os testes, foi estabelecido um erro  $\alpha=5\%$ .

### **3.4. Aspectos éticos**

O projeto de pesquisa encontra-se dentro das normas estabelecidas pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e baseado nas recomendações estabelecidas na Declaração de Helsinki (1964), conforme emenda em Tóquio (1975), Veneza (1983) e Hong-Kong (1989). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Presbiteriana Mackenzie (Número do Parecer: 5.585.533). Os indivíduos selecionados para pesquisa foram incluídos após aceitarem espontaneamente a participar do estudo e assinar o Termo de Consentimento Livre Esclarecido, em duas cópias, sendo uma para o participante e o outro para o experimentador.

## **4. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **4.1. Resultados**

49 participantes saudáveis de ambos os sexos (27 mulheres e 22 homens), com idade média de 21.2 anos ( $\pm 2.8$ , 18 - 31 anos), foram divididos em: 24 participantes do grupo ativo (ETCC anódica em CPP à direita) e 25 participantes do grupo placebo (ETCC placebo em CPP à direita). Houveram 7 perdas de seguimento devido a própria desistência dos participantes e eventos repentinos no calendário que contribuíram para não conclusão dos cinco dias consecutivos de treinamento.

Para avaliação do efeito do treinamento da Realidade Virtual Imersiva (RVi) e Eletroestimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) anódica em córtex parietal posterior (CPP), no desempenho motor de indivíduos saudáveis, foram usados o teste caixa e bloco e a pontuação do jogo. Para análise estatística, foi usada ANOVA de medida repetida, considerando os fatores: ETCC (ativo e placebo), Momento (D1, antes e depois da RVi, D5 antes e depois da Rvi), Lateralidade (direito e esquerdo) para o teste caixa e bloco.

Para o teste caixa e bloco, a ANOVA revelou diferença significativa no fator Momento (D1, antes e depois da RVi, D5 antes e depois da RVi) ( $p < 0.001$ ), e o post-hoc pelo teste bonferroni, mostrou diferença significativa em D1 antes e depois ( $p < 0.001$ ), D1 antes e D5 depois ( $p < 0.001$ ), D5 antes e depois ( $p < 0.001$ ). Houve diferença significativa para o fator Lateralidade (direito – esquerdo) ( $p < 0.001$ ). No fator ETCC (anódica vs placebo) tanto intragrupo quanto entre grupo não foram observadas diferenças. Os resultados demonstraram aumento da velocidade de resposta motora quando comparado antes e depois do treino de RVi.

TABELA 1: ANOVA para o teste caixa e bloco realizado com as mãos direita e esquerda no primeiro dia (D1 – antes e depois do treino) e no último dia (D5 – antes e depois do treino) realizados em participantes com ETCC (anódica vs placebo).

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2_p$
Teste caixa e bloco	6631.237	3	2210.412	72.6093	< .001	0.607
Teste caixa e bloco * ETCC	9.645	3	3.215	0.1056	0.957	0.002
Residual	4292.401	141	30.443			
Lateralidade	348.533	1	348.533	11.4554	0.001	0.196
Lateralidade * ETCC	0.533	1	0.533	0.0175	0.895	0.000
Residual	1429.982	47	30.425			
Teste caixa e bloco * Lateralidade	4.561	3	1.520	0.1873	0.905	0.004
Teste caixa e bloco * Lateralidade * ETCC	45.214	3	15.071	1.8569	0.140	0.038
Residual	1144.434	141	8.117			

GRÁFICO 1: Representação da pontuação do teste caixa e bloco realizado no primeiro dia (D1 – antes e depois do treino) e no último dia (D5 – antes e depois do treino).

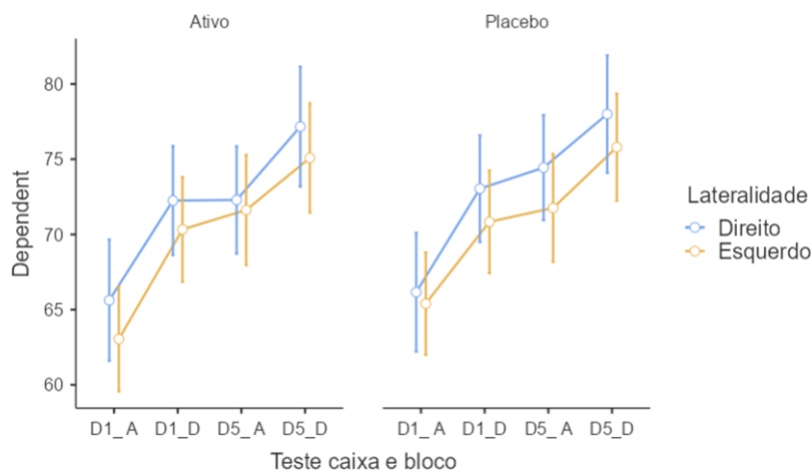


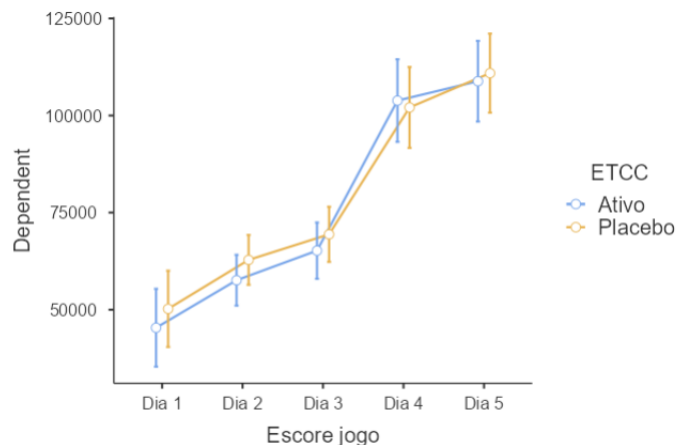
TABELA 2: Médias da pontuação do Teste caixa e bloco, considerando Lateralidade (direita e esquerda) e ETCC (anódica e placebo).

ETCC	Lateralidade	Teste caixa e bloco	Média	SE	Intervalo de Confiança 95%	
					Menor	Maior
Ativo	Direito	D1_A	65.6	2.00	61.6	69.7
		D1_D	72.3	1.80	68.6	75.9
		D5_A	72.3	1.78	68.7	75.9
		D5_D	77.2	1.98	73.2	81.2
	Esquerdo	D1_A	63.0	1.73	59.6	66.5
		D1_D	70.3	1.73	66.9	73.8
		D5_A	71.6	1.82	68.0	75.3
		D5_D	75.1	1.81	71.4	78.7
Placebo	Direito	D1_A	66.2	1.96	62.2	70.1
		D1_D	73.0	1.76	69.5	76.6
		D5_A	74.4	1.74	70.9	77.9
		D5_D	78.0	1.94	74.1	81.9
	Esquerdo	D1_A	65.4	1.69	62.0	68.8
		D1_D	70.8	1.70	67.4	74.3
		D5_A	71.8	1.78	68.2	75.3
		D5_D	75.8	1.77	72.2	79.4

SE= Standard Err

Para a pontuação do jogo Beat Saber, a ANOVA revelou diferença significativa para fator Momento (D1, D2, D3, D4 e D5) – ( $p < 0.001$ ), com uso do post-hoc, teste bonferroni, foi observada diferença significativa na pontuação em todos os dias, conforme tabela. Entretanto, para o fator ETCC (anódico vs placebo) não foi observada diferença estatisticamente significativa ( $p = 0.571$ ) tanto nas análises intragrupo quanto entre grupos. Os resultados demonstraram efeito do treinamento de RVi na performance no jogo, quanto maior o tempo (em dia) de treino, melhor performance no jogo.

GRÁFICO 2: Representa a pontuação do jogo Beat Saber do dia 1 ao dia 5 de treino em participantes com ETCC (anódica vs placebo).



Para análise de correlação do teste caixa e bloco e pontuação do jogo no último dia, foi observado que quanto maior a pontuação do jogo, maior a velocidade no deslocamento dos blocos, tanto na mão direita ( $R=0.31$ ,  $p= 0.03$ ) quanto na mão esquerda ( $R= 0.33$ ,  $p= 0.019$ ). Assim como, quanto maior a habilidade com a mão direita, maior com a mão esquerda ( $R= 0.875$ ,  $p< 0.001$ ).

TABELA 3: Correlação do teste caixa e bloco e da pontuação do jogo Beat Saber.

		D5_MÉDIAScore	D5_D_CXBL_LE	D5_D_CXBL_LD
D5_MÉDIAScore	Pearson's r	—		
	p-value	—		
D5_D_CXBL_LE	Pearson's r	0.334	—	
	p-value	0.019	—	
D5_D_CXBL_LD	Pearson's r	0.310	0.875	—
	p-value	0.030	< .001	—

#### 4.2. Discussão

O estudo proposto teve como objetivo avaliar o efeito da combinação da RVi e da ETCC no desempenho motor de indivíduos saudáveis. Os principais resultados indicaram que a RVi, independente do uso combinado com a ETCC, aplicada durante cinco dias consecutivos melhorou o desempenho motor dos indivíduos avaliados pelo teste caixa e bloco, com diferença significativa no fator Momento (D1 antes e depois da RVi, D5 antes e depois da RVi, D1 antes e D5 depois da RVi), além de sua performance no jogo em todos os dias de treinamento (D1, D2, D3, D4 e D5). No que diz respeito a aplicação da ETCC anódica no CPP combinado com a RVi, não houve efeito.

A melhora do desempenho motor pela prática de RVi nesse estudo foi observada tanto a curto, quanto a longo prazo. Evidências sugerem que esse efeito pode ser justificado pelo fato de a RVi estimular a coordenação, assim como, a prática repetitiva em dias consecutivos, a aprendizagem motora, levando a um aprimoramento das habilidades motoras dos indivíduos, sejam eles saudáveis ou com alguma condição patológica. Prasertsakul et al. (2018), em seu experimento, avaliou o efeito do treinamento de RV comparada a aplicação de exercícios fisioterapêuticos convencionais em adultos saudáveis durante 4 semanas de treinamento. Em seus achados, o autor evidenciou que à aplicação de um programa de exercícios baseado em realidade virtual pode melhorar várias funções fisiológicas do indivíduo e uma das razões para isso é o incentivo ao aprimoramento do aprendizado motor.

Nessa mesma linha, Rutkowski et al. (2021) avaliou o efeito do treinamento da RVi em jovens músicos, durante 5 dias consecutivos. E em seus resultados, o autor revelou que os participantes melhoraram a coordenação olho-mão e o tempo de reação devido ao estímulo visual no jogo. Segundo ele, o contato com o ambiente virtual tem a capacidade de aumentar

a ativação no córtex motor primário, responsável pelo desempenho motor. Além disso, essa imersão também envolve múltiplos sentidos, como visão e audição, o que pode aumentar a consciência corporal e a compreensão dos movimentos, contribuindo com um aprendizado mais profundo.

No presente estudo foi utilizado o jogo Beat Saber para a prática da RVi, o qual combina elementos musicais, visuais e físicos, proporcionando uma experiência imersiva que pode afetar positivamente o desempenho motor dos jogadores, visto que a necessidade de cortar os blocos na direção correta, ao ritmo da música, requer uma coordenação olho-mão apurada e a rapidez com que os jogadores respondem aos estímulos visuais e musicais contribui para o desenvolvimento do tempo de reação para a ação motora.

No que se refere a melhora da performance do indivíduo no jogo, estudos sugerem que pode ser justificada pelo treinamento que leva ao próprio aprimoramento do aprendizado motor (Prasertsakul et al., 2018), e isso pode resultar no aumento progressivo na pontuação do jogo, conforme os dias de treinamento, como observado no presente estudo. Esses achados podem ainda ter influência do ritmo da música do jogo Beat Saber, como apontado por Rutkowski et al. (2021), na habilidade de coordenação e precisão dos movimentos, tempo, ritmo e equilíbrio. No presente estudo, a mudança do ritmo da música no terceiro e no quarto dia de treinamento, promoveu um aumento mais expressivo na pontuação do jogo.

Além disso, a performance no jogo pode ser explicada pela motivação e engajamento do indivíduo, que pode aumentar com a sensação direta com o ambiente virtual. Os indivíduos que participaram do estudo, em sua maioria, estavam sempre empolgados para execução do treinamento e com o desejo de melhorar a cada dia pelo feedback que o jogo proporcionava. De maneira análoga, Choi e Paik (2018), aplicaram um programa de RV para reabilitação de membro superior em pacientes com AVC e em seus achados evidenciaram que a prática desse instrumento é interessante e motivadora, promovendo maior envolvimento dos indivíduos na recuperação da disfunção do membro superior.

Ademais, este estudo buscou combinar a prática da RVi com a ETCC anódica no CPP, visto que a estimulação nessa área cerebral pode influenciar a alocação de recursos atencionais e a integração de informações multissensoriais. No entanto, os resultados obtidos não demonstraram diferenças significativas no desempenho dos indivíduos. Uma hipótese para esse achado poderia estar relacionada com os parâmetros utilizados para a estimulação, como intensidade e duração, a população de sujeitos estudados e o desenho experimental utilizado.

Outra hipótese para os resultados encontrados seria o “efeito teto” na ETCC, em que a intensidade da corrente atinge um nível máximo, além do qual aumentar ainda mais a intensidade não causa um aumento proporcional na modulação da atividade cerebral. Costa (2014) avaliou o efeito da ETCC sobre o processamento visual básico e concluiu em seus

achados que um possível efeito teto da ETCC anódica poderia estar envolvido na discriminação verde-vermelho dos seus participantes, a qual estaria limitada por um teto fisiológico de desempenho e não poderia ser otimizada pela ETCC. O mesmo efeito ocorreu no estudo de Furuya et al. (2014), em que pianistas altamente treinados não apresentaram tal melhora na habilidade motora após a estimulação.

Desse modo, novos estudos devem ser desenvolvidos para avaliar a combinação da RVi com a ETCC em outras áreas cerebrais para comprovação da eficácia dessa intervenção e evolução da neurociência.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proposto enfoca o efeito da combinação da RVi e da ETCC no desempenho motor de indivíduos saudáveis. Os achados encontrados sugerem que a RVi, independente do uso combinado com a ETCC anódica no CPP, pode melhorar o desempenho motor desse grupo de participantes analisados, assim como a performance no jogo. Porém, a combinação dessa ferramenta com a ETCC na área estimulada não houve efeito, o que sugere a realização de novos estudos e investigações para melhor compreensão.

## 6. REFERÊNCIAS

BALUZ, Rodrigo Augusto Rocha Souza et al. Um jogo sério baseado em gestos para a reabilitação motora de membros superiores. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e2569119896-e2569119896, 2020.

CARVALHO, Marcele Regine de; COSTA, Rafael Thomaz da; NARDI, Antonio Egídio. Simulator Sickness Questionnaire: tradução e adaptação transcultural. **Jornal brasileiro de psiquiatria**, v. 60, p. 247-252, 2011.

CHOI, Yoon-Hee; PAIK, Nam-Jong. Mobile game-based virtual reality program for upper extremity stroke rehabilitation. **JoVE (Journal of Visualized Experiments)**, n. 133, p. e56241, 2018.

COSTA, Thiago Leiros. **Efeitos da estimulação transcraniana por corrente contínua sobre o processamento visual básico**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FURUYA, Shinichi et al. Ceiling effects prevent further improvement of transcranial stimulation in skilled musicians. **Journal of Neuroscience**, v. 34, n. 41, p. 13834-13839, 2014.

HIRAYAMA, Kento et al. Transcranial direct current stimulation of the posterior parietal cortex biases human hand choice. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 204, 2021.

LEARMONTH, Gemma et al. Non-invasive brain stimulation in Stroke patients (NIBS): A prospective randomized open blinded end-point (PROBE) feasibility trial using transcranial

direct current stimulation (tDCS) in post-stroke hemispatial neglect. **Neuropsychological Rehabilitation**, v. 31, n. 8, p. 1163-1189, 2021.

NITSCHKE, Michael A. et al. Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008. **Brain stimulation**, v. 1, n. 3, p. 206-223, 2008.

OLDFIELD, Richard C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, v. 9, n. 1, p. 97-113, 1971.

PISELLA, Laure. Visual perception is dependent on visuospatial working memory and thus on the posterior parietal cortex. **Annals of Physical and Rehabilitation Medicine**, v. 60, n. 3, p. 141-147, 2017.

NOCCARO, Alessia et al. A virtual reality platform for multisensory integration studies. In: **2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)**. IEEE, 2020. p. 3244-3247.

PRASERTSAKUL, Thunyanoot et al. The effect of virtual reality-based balance training on motor learning and postural control in healthy adults: a randomized preliminary study. **Biomedical engineering online**, v. 17, n. 1, p. 1-17, 2018.

RUTKOWSKI, Sebastian et al. Training using a commercial immersive virtual reality system on hand–eye coordination and reaction time in young musicians: A pilot study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 3, p. 1297, 2021.

BARELA, José Angelo. Aquisição de habilidades motoras: Do inexperiente ao habilidoso. **Motriz. Journal of Physical Education. UNESP**, p. 53-57, 1999.

STINNETT, Taylor J.; REDDY, Vamsi; ZABEL, Matthew K. **Neuroanatomy**, Broca Area. 2022.

SZPAK, Ancret; MICHALSKI, Stefan Carlo; LOETSCHER, Tobias. Exergaming with beat saber: an investigation of virtual reality aftereffects. **Journal of Medical Internet Research**, v. 22, n. 10, p. e19840, 2020.

TEOLI, Dac; AN, Jason. **Training Using a Commercial Immersive Virtual Reality System on Hand–Eye Coordination and Reaction Time in Young Musicians: A Pilot Study**. [s. l.], p. 1-7, Jan. 2022.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2006.

WHITLOCK, Jonathan R. **Posterior parietal cortex**. *Current Biology*, ed. 27, p. 691-695, 24 jul. 2017.

**Contatos:** gabi\_jac02@hotmail.com e marilialira@gmail.com